

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**OHEISVAHINKOJEN ARVIOINNISSA KÄYTETTÄVIEN VAARAETÄISYYKSIEN  
MÄÄRITTÄMINEN**

Tutkielma

Kapteeni  
Petteri Puusa

EUK 66  
Ilmasotalinja

Huhtikuu 2014

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

Kurssi <b>Esiupseerikurssi 66</b>	Linja <b>Ilmasotalinja</b>
Tekijä <b>Kapteeni Petteri Puusa</b>	
Tutkielman nimi <b>OHEISVAHINKOJEN ARVIOINNISSA KÄYTETTÄVIEN VAARAETÄISYYKSIEN MÄÄRITTÄMINEN</b>	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka MPKK:n kurssikirjasto
Aika Huhtikuu 2014	Tekstisivuja 30 Liitesivuja 1
<b>TIIVISTELMÄ</b> <p>Uusien kaukovaikutteisten asejärjestelmien myötä Suomen puolustusvoimien on alettava toteuttaa oheisvahinkojen arviointia sodan oikeussääntöjen mukaisesti. Naton operaatioissa on vakiintunut käyttöön Yhdysvaltojen kehittämä oheisvahinkojen arviointimenetelmä. Menetelmä tarjoaa systemaattisen tavan arvioida sotilaallisesta voimankäytöstä sivullisille aiheutuvaa riskiä, mikä antaa voiman käytöstä päättävälle komentajalle mahdollisuuden verrata mahdollisia oheisvahinkoja hyökkäyksestä saatavaan sotilaalliseen hyötyyn.</p> <p>Arviointimenetelmässä käytetään aseiden ja taistelukärkien fysikaalisiin vaikutuksiin perustuvia vaaraetäisyystaulukoita. Naton ulkopuolisena maana Suomen on itse luotava kyseiset taulukot. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka oheisvahinkojen arviointimenetelmän käytössä tarvittavat asevaikutusten vaaraetäisyydet voidaan määrittää.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena esitettiin laskentamenetelmät oheisvahinkojen arvioinnissa tarvittavien vaaraetäisyyksien määrittämiseksi. Sirpalevaikutusten laskennassa käytettiin Sandis-taistelusimulointiohjelmistoa. Painevaikutuslaskennassa käytettiin yleisiä fysikaalisia periaatteita. Lisäksi tutkittiin laskentamallia maan sisällä räjähtävien taistelukärkien vaarallisuuden määrittämiseksi. Työssä laskettiin julkisista lähteistä saatavilla oleviin parametreihin perustuvat vaaraetäisyydet Ilmavoimiin lähivuosina hankittaville ilmasta maahan-täsmäaseille.</p>	
<b>AVAINSANAT</b> <p>oheisvahinko, arviointimenetelmä, sivullinen, vaaraetäisyys, Sandis, sirpalevaikutus, painevaikutus, CDE, CDM, CDEM, Collateral Damage Estimation</p>	

# OHEISVAHINKOJEN ARVIOINNISSA KÄYTETTÄVIEN VAARAETÄISYYKSIEN MÄÄRITTÄMINEN

## Sisältö

1.	JOHDANTO .....	1
1.1.	Aihealueen esittely .....	1
1.2.	Tutkimustilanne .....	3
1.3.	Tutkimustehtävä.....	3
1.4.	Käsitteitä .....	3
1.5.	Näkökulma .....	4
1.6.	Tärkeimmät rajaukset.....	4
2.	OHEISVAHINKOJEN ARVIOINTIMENETELMÄ.....	6
2.1.	Arvioinnin vaihe 1: Kohteen kelpuuttaminen maaliksi .....	7
2.2.	Arvioinnin vaihe 2: Yleisarvio kohteesta.....	8
2.3.	Arvioinnin vaihe 3: Sirpalevaikutuksen arviointi .....	9
2.4.	Arvioinnin vaihe 4: Painevaikutuksen arviointi.....	11
2.5.	Arvioinnin vaihe 5: Uhrien lukumäärän arviointi.....	11
3.	SIRPALEVAIKUTUS IHMISIIN .....	13
3.1.	Sirpalevaikutuksen laskenta .....	13
3.2.	Sirpalevaikutuslaskennan tulokset .....	18
3.3.	Sirpalevaikutuksen pienentäminen.....	19
3.4.	Päätelmiä.....	22
4.	PAINEVAIKUTUS RAKENNUKSIIN .....	24
4.1.	Painevaikutuksen laskenta .....	24
4.2.	Painevaikutuslaskennan tulokset.....	27
4.3.	Päätelmiä .....	27
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	29

## LÄHTEET

## LIITE

# OHEISVAHINKOJEN ARVIOINNISSA KÄYTETTÄVIEN VAARAETÄISYYKSIEN MÄÄRITTÄMINEN

## 1. JOHDANTO

### 1.1. Aihealueen esittely

Puolustusvoimille ollaan hankkimassa suorituskykyjä, jotka mahdollistavat kaukovaikuttamisen syvälle vastustajan alueelle. Kansainvälisten sopimusten ja sodan oikeussääntöjen mukaan sotilaallisen voiman käyttäjän on otettava huomioon vaara ja vahinko, joka voi aiheutua henkilöille tai kohteille, jotka eivät ole laillisia sotilaskohteita. Voimankäytön oheisvahinkoja tulee arvioida ennen hyökkäystä (Collateral Damage Estimation, CDE) ja ne eivät saa olla kohtuuttoman suuria verrattuna hyökkäyksestä saatavaan sotilaalliseen hyötyyn. Oheisvahinkoja tulee välttää ja niitä tulee arvioida ennen sotilaallisen voiman käyttöä myös silloin, kun vastustaja ei toimi samalla periaattella. Esimerkiksi Geneven yleissopimuksen I lisäpöytäkirjan 57 artiklan mukaan ”aseellisen toiminnan suunnittelijoiden tai siitä päättävien on – – ryhtyvä kaikkiin mahdollisiin varotoimiin aseellisen toiminnan menetelmiä ja keinoja valitessa tarkoituksena välttää tai ainakin saada mahdollisimman vähäisiksi sattumanvaraiset ihmishengen menetykset”.

Naton viimeaikaisissa operaatioissa on käytetty oheisvahinkojen arviointiin Yhdysvaltojen luomaa, systemaattista menetelmää No-Strike and the Collateral Damage Estimation Methodology (CDM) [15]. Menetelmä kehitettiin vuonna 2005 korvaamaan aikaisemmin käytössä olleet menetelmät [6, s. 1011]. Yhdysvaltojen arviointimenetelmää on käytetty pitkälti sellaisenaan ainakin ISAF-operaatiossa Afganistanissa [13, s. 2] sekä OUP:ssa Libyassa [13, saatteen s. 1]. NATO hyväksyi Yhdysvaltojen CDM:n käyttöön kyseisiin operaatioihin, koska se on osoittautunut toimivaksi ja koska Natolla ei ollut muutakaan yhteistä menetelmää. Tämän tutkimuksen tekijä on lokakuussa 2011 saanut koulutuksen CDM:n käyttöön NATO-koulussa Saksassa sekä läpäissyt CDE Analyst -tehtävissä toimivilta edellytettävän kokeen.

Joulukuussa 2011 Nato julkaisi asiakirjan NATO Collateral Damage Estimation Methodology (luokiteltu NATO Unclassified), josta käytetään lyhennettä NATO CDEM. Asiakirjassa kuvataan oheisvahinkojen arviointimenetelmä, joka pohjautuu USA:n CDM:ään. Naton menetelmä on kuvailtu yleisemmällä tasolla, olematta silti ristiriidassa USA:n menetelmän kanssa. [13; 15] Operaatioon osallistuville valtioille jätetään vastuu esimerkiksi tiettyjen räjähdysvaikutuksen arvioinnissa käytettävien, kansallisten tuotteiden valmistelusta [13, s. 2]. On oletettavaa, että jatkossakin käytettävä menetelmä on käytännössä Yhdysvaltojen menetelmä, mutta Nato on halunnut jo valmiiksi virallistaa sen myös tuleviin operaatioihin.

Yhdysvaltain CDM on prosessina turvaluokituksestaan ”U//FOUO” (Unclassified, for Official Use Only) ja prosessin kuvaava dokumentaatio on nykyään saatavilla jopa internetistä. Menetelmässä käytettävät referenssitaulukot on kuitenkin laadittu vain kansalliseen käyttöön tai luokiteltu turvaluokkaan Nato Secret, eikä niitä ole vapautettu Suomelle. Referenssitaulukot sisältävät muun muassa sirpale- ja painevaikutuksesta johtuvia vaaraetäisyyksiä eri aseille ja rakenteille. Kyseiset vaaraetäisyydestaulukot ovat välttämättömiä oheisvahinkojen arvioinnissa. Kun CDM-prosessia käytetään kansainvälisissä harjoituksissa, käytetään usein geneerisiä tai kuvitteellisia vaaraetäisyydestaulukoita tai yksinkertaistetaan prosessia niin, että vaaraetäisyydestaulukoita ei tarvita.

Suomen tehdessä maalittamistyötä kaukovaikutteisille aseille on välttämätöntä, että sodan oikeussääntöjen mukaisesti harjoitamme samalla oheisvahinkojen arviointia. Puolustusvoimien yhteisen vaikuttamisen projektien kokemusten perusteella voidaan pitää todennäköisenä, että kansainvälisen yhteensopivuuden varmistamiseksi Suomessakin aletaan opetella ja käyttää Natossa käytettävää arviointimenetelmää. Menetelmä on laajan käyttäjäkuntansa vuoksi helposti perusteltavissa ja muiden valtioiden sotilaat ymmärtävät sen esimerkiksi tilanteessa, jossa Suomi vastaanottaa kansainvälistä apua. Jotta arviointiprosessi olisi käyttökelpoisella tasolla ja jotta maalittamistyötä tekevät harjaantuvat CDE-arvioiden tekemisessä, Suomen tulee Naton ulkopuolisena maan pystyä itse tuottamaan oheisvahinkojen arvioinnissa käytettävät vaaraetäisyydestaulukot.

Tämän tutkimustyön tarkoituksena on selvittää, kuinka voidaan määrittää ihmiselle vaarallinen sirpale- ja painevaikutus suhteessa etäisyyteen taistelukärjen räjähdyspisteestä. Tutkimuksen räjähdysvaikutukseen liittyvät menetelmät ja parametrit ovat peräisin julkisista lähteistä. Tutkimuksen tuloksena syntyviä periaatteita voidaan kuitenkin hyödyntää jatkotutkimuksissa varsinaisten operatiivisten referenssitaulukoiden tekemisessä.

## 1.2. Tutkimustilanne

Sodan oikeussäännöistä ja oheisvahinkojen merkityksestä yleisesti on runsaasti kansainvälistä tutkimusta. Pasi Tammi on tehnyt YE-kurssin diplomityön aiheesta Sodan oikeussäännöt ja ilmavoimien maalittamisprosessi ilmasta maahan -toiminnassa, joka taustoittaa oheisvahinkojen arvioinnin merkitystä. Naton ja USA:n käyttämästä CDM:sta on kirjoitettu joitakin yleisluontoisia artikkeleita, mutta julkisissa lähteissä ei pureuduta vaaraetäisyyksien laskentaperiaatteisiin.

Räjähdysvaikutuksista on kuitenkin tehty paljon julkista tutkimusta varsinkin siviilikäyttöön ja vaarallisten aineiden varastointiin liittyen, esimerkiksi teollisuuslaitosten turvallisuusselvityksiä varten. Suomen puolustusvoimissa Esa Lappi ja Bernt Åkesson ovat julkaisuissaan käsitelleet muun muassa pommien ballistista hajontaa ja taistelukärkien räjähdevaikutuksia.

## 1.3. Tutkimustehtävä

Päätutkimuskysymys on:

- Kuinka määritetään oheisvahinkojen arviointimenetelmän käytössä tarvittavat asevaikutusten vaaraetäisyydet?

Tutkimuksen alakysymykset ovat:

- Kuinka määritetään ihmiselle vaarallinen sirpalevaikutus etäisyyden funktiona?
- Kuinka määritetään erilaisten rakenteiden romahtamisen aiheuttava painevaikutus etäisyyden funktiona?

Tutkimuksen päämääränä ei ole määrittää salaisiin lähtöarvoihin perustuvia vaaraetäisyyksiä operatiiviseen käyttöön, vaan tarkastella vaaraetäisyyksien määrittämisen periaatteita valituilla menetelmillä.

## 1.4. Käsitteitä

*Sirpale* on räjähtävästä taistelukärjestä sinkoutuva palanen, yleensä osa räjähteen metallikuorta. Ihmiselle vaarallisena sirpaleena pidetään sirpaletta, jolla on riittävästi energiaa läpäistäkseen ihmisen. Sirpaleen energia riippuu sen massasta ja lähtönopeudesta sekä etäisyydestä räjähdyspisteeseen. Tutkimuksessa oletetaan, että ihminen vastaa kestävyydeltään 1,5 millimetrin teräslevyä [17, s. 34].

*Sirpalevaikutus* on tässä tutkimuksessa räjähteen sirpaleiden teoreettinen yhteisvaikutus, joka riippuu räjähdysen voimasta hajoavan metallikuoren sirpalejakaumasta ja -tiheydestä, sirpaleiden keskimassasta ja niiden lähtönopeudesta.

*Painevaikutus* on räjähdyksestä aiheutuva äkillinen ilmanpaineen kohoaminen, joka edetessään voi rikkoa rakenteita. Rakenteiden paineenkestot määritetään lähteissä yleensä ylipainerajoina.

*TNT-ekvivalentti* ilmaisee räjähdysaineen tehon suhteessa trinitrotolueeniin.

## 1.5. Näkökulma

Tässä tutkimuksessa ei käsitellä oheisvahinkoihin liittyviä lainopillisia, eettisiä tai poliittisia kysymyksiä, vaan keskitytään ennen hyökkäystä tehtävään, sivullisiin mahdollisesti kohdistuvan asevaikutuksen arviointimenetelmiin. Tutkimuksessa tarkastellaan sirpaleiden ja paineen fysikaalista vaikutusta malleilla, jotka perustuvat kokeellisesti tutkittuun tietoon.

Räjähdyksessä pommin kuoresta syntyvät sirpaleet ovat vaarallisia ihmiselle sellaisenaan. Tutkimuksessa oletetaan, että sirpalevaikutuksen kohteeksi joutuva on sivullinen, joka ei kannu suojavarusteita.

Painevaikutuksen vaarallisuutta ihmiselle tässä tutkimuksessa käsitellään samalla tavalla kuin NATO CDEM:ssä, eli oletetaan, että sivullinen henkilö on rakennuksen sisällä, jossa hän on kohtuullisen hyvin suojassa sirpalevaikutukselta. Varsinainen hengenvaara syntyy siitä, että rakennuksessa sisällä oleva ihminen jää romahtavan rakennuksen tai sen osan alle.

## 1.6. Tärkeimmät rajaukset

Tutkielma rajataan käsittelemään valittujen räjähteiden sirpalevaikutusta ihmisiin ja painevaikutusta rakenteisiin. Tutkimuksessa ei käsitellä oheisvahinkojen arvioinnin vaiheessa 5 vaadittavien ihmistiheystaulukoiden laatimista.

Tutkielmassa käsiteltävät aseet rajataan käsittämään täsmäaseita ja tarkemmin Suomen Ilmavoimille F/A-18 Hornetin MLU2-hankkeen myötä hankittavia ilmasta maahan -aseita. Näin ollen tutkimuksen ulkopuolelle rajataan ohjaamattomat lentopommit sekä kranaatinheittimien ja tykistön ammukset.

Tarkasteltavat täsmäaseet ovat:

- JDAM:in neljä versiota, joiden tyypit, taistelukärjet ja nimellispainot ovat:
  - GBU-31(V)2/B, Mark 84, 900 kg
  - GBU-31(V)3/B, BLU-109, 900 kg
  - GBU-32(V)2/B, Mark 83, 450 kg
  - GBU-38/B, Mark 82, 225 kg
- AGM-154C JSOW, WDU-44/45, 480 kg
- AGM-158 JASSM, WDU-42/B, 975 kg

Painevaikutuksen kohteeksi valitaan yleisimmät asuinrakennusten ja julkisten rakennusten materiaalit ja rakenteet, jotka tyypillisesti liittyvät oheisvahinkojen syntymiseen.



## 2. OHEISVAHINKOJEN ARVIOINTIMENETELMÄ

Tässä luvussa esitellään Naton oheisvahinkojen arviointimenetelmän pohjana olevaa Yhdysvaltojen CDM:ia yleisellä tasolla ja sillä tarkkuudella, kun se on selvitettävissä julkisista lähteistä.

Arviointimenetelmä on luotu siksi, että eri tasojen komentajilla ja päätöksentekijöillä olisi konkreettinen työkalu, jolla voidaan uskottavasti ja puolustettavasti tehdä arvioita mahdollisista oheisvahingoista. Arviointimenetelmän käyttäjän kannalta menetelmään ei oikeastaan liity juurikaan varsinaista ”arviointia”, vaan menetelmä on varsin systemaattinen ja sen tarkoitus on olla toistettavissa niin, että eri arvioitsijat päätyvät samaan tulokseen. Menetelmän käytössä tarvittavan materiaalin taustalla on kuitenkin tiettyjä yleistyksiä sekä esimerkiksi kuvaustiedustelun tekemiä päätelmiä talojen rakenteista, jotka ovat usein luonteeltaan vain arvioita, joiden luotettavuus voi vaihdella.

Menetelmä on suunniteltu koskemaan vain konventionaalisia, kineettisen vaikuttamisen aseita. Sen ulkopuolelle on rajattu esimerkiksi ydinaseet, informaationsodankäynti sekä modernit, pelkkään lamauttamiseen pyrkivät energia-aseet ja mellakantorjuntavälineet. Menetelmässä ei huomioida asioita, joita arvion tekijän ei voida olettaa kykenevän ennustamaan, kuten hyökkäyksen aikana yllättäen paikalle saapuvia henkilöitä (”unknown transients”), sekundäärisiä räjähdyksiä tai aseiden merkittävää vikaantumista ja harhautumista. [15, s. D-5–D-6] Operaation voimankäytön säännöissä voi kuitenkin olla varsinaisen CDM:n lisäksi erillisiä määräyksiä ja varmistuksia oheisvahinkojen minimoimiseksi. Tällaisia määräyksiä on ollut esimerkiksi ISAF-operaation myöhemmissä vaiheissa, kun oheisvahinkojen sietokyky on ollut erittäin alhainen.

Oheisvahinkojen arviointimenetelmä on viisiportainen. Sen tuloksena tehty lopullinen arvio on CDE 1-5, jossa korkeampi numero kuvaa korkeampaa riskiä sivullisille uhreille. Arviointi alkaa tasolta CDE 1, jossa tehdään tietyt tarkastukset. Oheisvahinkojen syntymisen riskistä riippuen arviointia jatketaan ja siirrytään aina seuraavalle tasolle, jossa tehdään tarkempaa tarkastelua. Eri tasoilla annetaan myös aseiden käyttöä rajoittavia määräyksiä, joiden tarkoitus on pienentää oheisvahinkojen todennäköisyyttä. Tasolle CDE 5 päädyttäessä arvioidaan sivullisten ihmisuhrien olevan väistämättömiä. Siirryttäessä oheisvahingon arvioinnin tasoilla ylöspäin siirrytään vaiheittain ylöspäin myös päätöksenteon komentoketjussa [13, s. 1]. Korkeimmalle tasolle edenneet arviot voivat edellyttää operaation komentajan tai valtionjohdon päätöstä, ennen kuin kohteeseen voidaan hyökätä [15, s. D-A-36].

Arvioinnissa käytetään apuna vaaraetäisyyksiä (Collateral Effects Radius, CER), joiden merkitys riippuu arvioinnin vaiheesta. Sovellettavan vaaraetäisyyden avulla muodostetaan vaara-alue (Collateral Hazard Area, CHA), joka täsmäaseiden ollessa kyseessä on kaksiulotteisen ympyrän muotoinen ja mitataan taistelukärjen suunnitellusta iskemäpisteestä. [15, s. D-A-4] Jos vaara-alueen sisälle jää sivullisia ihmisiä mahdollisesti sisältävä rakennus tai muu alue (Collateral Concern, CC), tarkastelua on jatkettava seuraavalle tasolle [15, s. D-A-1].

Vaara-alueiden piirtäminen voidaan tehdä käsin, mutta usein käytetään tarkoitukseen suunniteltuja tietokonesovelluksia. Esimerkiksi Suomen puolustusvoimissa evaluoitu JADOCS-ohjelmisto (Joint Automated Deep Operations Coordination System) sisältää CDE Wizard-työkalun. Evaluoinnissa tehtyjen havaintojen mukaan työkalu noudattaa tarkasti Yhdysvaltain CDM:n mukaista oheisvahinkojen arviointimenetelmää, mutta ohjelmiston mukana toimitetut kirjastotiedostot, jotka sisältävät muun muassa vaaraetäisyystaulukot, ovat hyvin geneerisiä ja esimerkinomaisia. Ne ovat kuitenkin korvattavissa itse määritetyillä taulukoilla. Parhaassa tilanteessa oheisvahinkojen arviointi voidaan tehdä samalla ohjelmistolla kuin millä kohteiden valinta tai asevaikutuksen suunnittelu tehdään tai edes käyttäen olennaisin osin samaa tietokantaa kohdealueen rakennuksista.

Taistelutilanteita varten on luotu erillinen menetelmä oheisvahinkojen nopeaan arvioon kentällä (Field CDE) esimerkiksi ilmatulenjohtajien käyttöön. Kyseistä menetelmää käyttäessä riski oheisvahingoille voi olla etukäteen valmisteltua hyökkäystä suurempi johtuen aikarajoitteista sekä puutteellisesta tilanne- ja ympäristötietoisuudesta. Taistelutilanteessa saa tyypillisesti tehdä oheisvahinkoarvioita korkeintaan tasolle 3 asti. [15, s. D-A-36]

## 2.1. Arvioinnin vaihe 1: Kohteen kelpuuttaminen maaliksi

Arvioinnin ensimmäinen vaihe on vaaraetäisyyden kannalta yksinkertainen, sillä kyseessä on vain yksi operaatiokäskyssä annettu tai käyttöön vakiintunut, verrattain suuri vaaraetäisyys, joka tietyin poikkeuksin kattaa kaikki valikoimissa olevat konventionaaliset aseet. Vaiheessa 1 etäisyys mitataan kohteen ulkokehältä, esimerkiksi rakennuksen reunasta [15, s. D-A-7]. Mikäli kyseisen etäisyyden muodostaman vaara-alueen sisäpuolella ei ole sivullisia, mikä on tyypillinen tilanne esimerkiksi taistelukentällä asutuskeskuksen ulkopuolella, tarkastus on vaara-alueen osalta hyväksytty ja arvio on ”CDE 1 Low”. Muussa tapauksessa ensimmäisen tason osalta arvio on ”CDE 1 High”, mutta se voi olla vain väliaikainen arvio ja on siirryttävä seuraavaan vaiheeseen. Lopullisissa arvioissa termi ”High” voi esiintyä vain tasolla 5.

Ensimmäinen vaihe on kuitenkin siinä mielessä työläs, että siinä tehdään useita muita tarkastuksia, jotka liittyvät kohteen tunnistamiseen sekä sodan oikeussääntöjen ja operaation voimankäytön sääntöjen noudattamiseen. Lisäksi tulee tehdä arvio siitä, aiheuttaako hyökkäys riskin merkittävästä ympäristövahingosta tai esimerkiksi kemiallisesta saastepilvestä. Mikäli riski hallitsemattomista jatkoseurauksista on olemassa, kohde luokitellaan suoraan tasolle CDE 5 ja se otetaan erilliseen STAR-prosessiin (Sensitive Target Approval and Review), jossa riskiä arvioidaan tarkemmin [15, s. D-A-9]. Oheisvahinkojen arviointi tehdään siitä huolimatta menetelmän mukaisesti loppuun asti, jolloin kyseinen arvio ilmaistaan esimerkiksi tavalla ”CDE 5(3)”, mikäli tavanomaista arviointia jatkettiin tasolle 3.

## 2.2. Arvioinnin vaihe 2: Yleisarvio kohteesta

Arvioinnin edetessä vaiheeseen 2 on tehtävä valinta käytettävästä aseluokasta sen mukaan, mikä on tavoiteltu vaikutus kohteessa. Tällöin hyödynnetään maalikansion mukaista vaikutussuunnitelmaa tai tehdään yhteistyötä asevaikutuksen suunnittelutyötä (weaponneering) tekevän henkilöstön kanssa.

Aseluokka ilmaistaan kirjaimella A–C. Luokat jaetaan seuraavasti:

- Aseluokka A: täsmäaseet (Precision Guided Munitions, PGM)
- Aseluokka B: ohjaamattomat pommit (Air-to-Surface Unguided Munitions, ASUGM)
- Aseluokka C: tykistön tai kranaatinheittimistön ei-ohjattavat ammukset (Surface-to-Surface Ballistic Munitions, SSBM)

On huomattava, että esimerkiksi GPS-hakuiset tykistöohjukset ovat täsmäaseita ja luokitellaan tässä jaossa aseluokkaan A. Luokkien B ja C osalta arvioinnin vaihe 2 on vain soveltuvuuskoe, jolla tarkastellaan sitä, voiko tiettyä aseluokkaa tai sen kohteeseen saattamiseen käytettävää aselavettia lainkaan käyttää kyseiseen kohteeseen hyökkäämiseen. Soveltuvuus riippuu pitkälti siitä, minkä kokoinen ja muotoinen maali tai maalialue on. Aseluokissa B ja C arviointi ei koskaan pääty vaiheeseen 2, vaan mikäli soveltuvuuskoe läpäistään, siirrytään joka tapauksessa seuraavaan vaiheeseen. Luokissa B ja C myös oheisvahinkojen jatkoarviointi poikkeaa luokan A mukaisesta arvioinnista. Tässä tutkimuksessa käsitellään rajauksen mukaisesti pelkästään aseluokkaa A ja ilmasta maahan laukaistavien täsmäaseiden vaikutusten arviointia.

Täsmäaseet jaetaan edelleen rypäleaseisiin ja yksittäisen taistelukärjen aseisiin. Kummallekin on oma vaaraetäisyytensä, joka kattaa kaikki kyseisen luokan aseet. Vaaraetäisyys mitataan maalipisteestä. Ohjeistus antaa myös mahdollisuuden mitata vaaraetäisyyden kohteen ulko-reunasta ja soveltaa samaa mittausta useampaan maalipisteeseen, mutta se on poikkeustilanne ja sitä käytetään yleensä vain silloin, kun tarkkoja maalipisteitä ei ole määritelty [15, s. D-A-17]. Täsmäaseille lopullinen arvio voi olla ”CDE 2 Low, PGM”. Vaiheen 2 arvio voi sisältää huomautuksen siitä, että rypäleaseita ei saa käyttää.

Kuten vaiheen 1 tapauksessa, myös vaiheen 2 vaaraetäisyydet on annettu operaatiosuunnitelmassa tai muuten vakioitu, jotta voidaan tehdä nopea, useisiin tapauksiin soveltuva oheisvahinkojen arviointi [13, s. 2]. Esimerkiksi rynnäköhävittäjän ohjaaja voi maalin löydettyään piirtää maalinosoituslaitteensa näytölle sovellettavaa vaaraetäisyyttä maastossa vastaavan ympyrän. Mikäli tunnistuskriteerit ja muut voiman käytön edellytykset täyttyvät ja kyseisen vaara-alueen sisällä ei ole siviilikäyttöön soveltuvia rakennuksia tai ajoneuvoja, ohjaaja voi tehdä itsenäisen ratkaisun kohdetta vastaan hyökkäämisestä.

### 2.3. Arvioinnin vaihe 3: Sirpalevaikutuksen arviointi

Oheisvahinkojen arvioinnin vaiheessa 3 arvioidaan sivullisiin kohdistuvaa riskiä, joka aiheutuu taistelukärkien räjähdyksessä syntyvistä sirpaleista. Menetelmässä oletetaan, että henkilöt eivät ole maaston suojassa eivätkä kanna suojarusteita. Jokaiselle aseelle tai taistelukärjelle on annettu oma vaaraetäisyytensä.

Hyökkäyksessä käytettävä ase on ensisijaisesti asevaikutuksen suunnittelijan valitsema. Suunnittelutyön lähtökohtana on valita ase ja taistelukärki, jolla haluttu vaikutus kohteessa saadaan aikaan aikaiseksi. Yleisenä periaatteena on valita pienin ja kevyin tarkoitukseen soveltuva ase, koska sodan oikeussääntöjen mukaan on vältettävä tuhoamasta enempää kuin mikä on sotilaallisesti välttämätöntä [19, s. 10]. Toisinaan suunnittelijalla ei kuitenkaan ole paljoakaan vaihtoehtoja, jos aseita on vain rajallisesti käytettävissä tai jos vain tietyt aseet soveltuvat kantamansa tai tehokkuutensa puolesta tarkoitukseen. Luonnollisesti on mahdollista, että sama henkilö suunnittelee asevaikutuksen ja tekee arvion oheisvahingoista [15, s. D-A-13].

Oheisvahinkojen arviointimenetelmän periaatteena on arvioida ja pienentää sivullisille aiheutuvaa riskiä, kuitenkin siten, että asevalintaa ja aseiden käyttöä rajoitetaan mahdollisimman vähän. Rajoitukset aseiden käytössä voivat lisätä tehtävän epäonnistumisen ja omien tappioiden riskiä, koska ne pienentävät operaattoreiden taktista liikkumavaraa. [15, s. D-A-2] Näin ollen suunnittelutyö prosessina pääsääntöisesti etenee siten, että oheisvahinkojen arvioija käyttää asevaikutuksen suunnittelijan valitsemaa asetta. Mikäli oheisvahinkojen riski kuitenkin esimerkiksi ylittää voiman käytön säännöissä mainitut rajat tai ei ole operaation vaiheessa poliittisista syistä hyväksyttävissä, arviointimenetelmän ohjeistuksessa mainitaan mahdollisuus palata asevaikutuksen suunnitteluun vaihtoehtoisen ratkaisun löytämiseksi. Tämä ei kuitenkaan saa johtaa asevalintaan, joka vaarantaa halutun vaikutuksen aikaansaamista kohteessa. [13, s. 5; 15, s. D-A-13]

Asekohtaista vaaraetäisyyttä käyttämällä piirretään taistelukärjen suunnitellulle iskemäpisteelle ympyrän muotoinen vaara-alue. Jos vaara-alueen sisään oletettavasti jää sivullisia henkilöitä, voidaan vaara-aluetta pienentää käyttämällä viivesytytintä. Tällöin vaatimuksena on yksinkertaisesti, että taistelukärki räjähtää kokonaisuudessaan joko maan sisällä tai rakennuksen sisällä. Sytyttimen tarkkaan viiveasetukseen ei menetelmässä oteta tarkemmin kantaa, vaan se jää asevaikutuksen suunnittelijan vastuulle. [15, s. D-A-18]

Taistelukärjen räjäyttäminen maan tai rakennuksen sisällä aiheuttaa sen, että sivullisille aiheutuva ensisijainen riski ei aiheudu niinkään taistelukärjen sirpaleista, vaan lentävästä maa-aineksesta tai muusta taistelukärkeen kuulumattomasta materiaalista. Viivesytyttimen käyttämisellä pienennetyt vaaraetäisyydet on annettu jokaiselle aseelle tai taistelukärjelle, joka mahdollistaa viivesytyttimen käytön. Mikäli viivesytyttimen käytölläkin pienennetty vaara-alue on liian suuri sivullisiin nähden, arvio on ”CDE 3 High” ja siirrytään arvioinnin seuraavaan vaiheeseen. On myös tilanteita, joissa viivesytytintä ei voida taktisista syistä käyttää, vaan halutun asevaikutuksen saamiseksi taistelukärjen on räjähdettävä maan pinnalla tai sen yläpuolella. Tällöin vaihtoehtoa viivesytyttimen käyttämiseksi ei arvioida, vaan käytetään pintaräjähdyksen mukaista vaaraetäisyyttä.

Toisaalta on tilanteita, joissa suunnitelmallisesti aiotaan käyttää viivesytytintä tai koko ase on suunniteltu toimimaan tunkeumaperiaatteella. Tästä huolimatta kaikille aseille on vaaraetäisyydestaulukoissa annettu sirpalevaikutusetäisyys pintaräjähdystilanteessa, eikä vaatimusta viivesytyttimen käytöstä lisätä arvioon tarpeettomasti. Esimerkiksi tiettyjä aseita voidaan periaatteessa haluttaessa käyttää ajoneuvoja tai henkilöstöä vastaan, vaikka ne onkin varustettu tunkeutumiseen kykenevillä taistelukärjillä. Tällöin on käytettävä sirpalevaikutukseen liittyviä vaaraetäisyyksiä.

## 2.4. Arvioinnin vaihe 4: Painevaikutuksen arviointi

Oheisvahinkojen arvioinnin vaihetta 4 voidaan soveltaa vain tilanteessa, jossa sivullisten voidaan olettaa olevan sisätiloissa ja siten kohtuullisesti suojassa sirpaleilta ja muulta lentävältä materiaaalilta. Jos sivulliset sen sijaan ovat esimerkiksi torilla tai muulla suojattomalla alueella, vaihe 4 ohitetaan kokonaan ja vaiheen 5 uhriarviointi tehdään vaiheen 3 vaaraetäisyyksien perusteella. Satunnaisia ohikulkijoita tai hyökkäyksen aikana kohteen ohitse ajavia ajoneuvoja ei oheisvahinkojen arviointimenetelmässä huomioida. Kuitenkin ulkoilmatapahtumat ja muut ihmisten tiettyyn paikkaan kerääntymistä aiheuttavat tilanteet, joista tiedustelulla on mahdollisuuksia tuottaa tietoa, tulee ottaa huomioon. [15, s. D-A-23]

Vaiheessa 4 pääasiallisen uhkan sivullisille oletetaan syntyvän räjähdysen aiheuttaman ylipaineen kautta. Arvioinnissa tarkastellaan mahdollisuutta siihen, että hyökkäyksen kohteena olevan maalin lähistöllä oleva rakennus sortuu kokonaan tai osittain, jolloin sen sisällä olevat sivulliset joutuvat hengenvaaraan. Vaaraetäisyyteen vaikuttaa räjähdysen voimakkuus ja sivullisia sisältävän rakennuksen rakenteiden ylipainekestävyys. Rakenteita voidaan arvioida kuvaustiedustelun keinoin, ja riippuen tilanteesta arviointiin voidaan käyttää myös muita keinoja, kuten paikallisia viranomaislähteitä tai yleistä kulttuurin ja arkkitehtuurin tuntemusta. Rakenteet yksinkertaistetaan tiettyihin rakentamistekniikan perustyyppisiin, jotka riittävällä tarkkuudella edustavat operaatioalueella esiintyviä julkisia tiloja ja asuinrakennuksia.

Vaiheen 4 referenssitaulukko sisältää kullekin aseelle tai taistelukärjelle sekä kaikille valituille rakenteille romahtamisen aiheuttavat vaaraetäisyydet, joiden avulla vaara-alueet määritetään. Mikäli kyseisen vaara-alueen sisälle jää edes osittain sivullisia mahdollisesti sisältävä rakennus, arvio on ”CDE 4 High” ja arviointia on jatkettava viimeiseen vaiheeseen.

## 2.5. Arvioinnin vaihe 5: Uhrien lukumäärän arviointi

Kun oheisvahinkojen arviointi päättyy vaiheeseen 1-4, voidaan olettaa, että sivullisia uhreja todennäköisesti ei synny. Saavuttaessa vaiheeseen 5, sivullisia uhreja arvioidaan todennäköisesti syntyvän ja niiden määrä pyritään arvioimaan. Oheisvahinkojen arvioinnin ohjeistuksessa tosin painotetaan, että ei ole olemassa mitään tapaa luotettavasti arvioida hyökkäyksestä syntyvien uhrien määrää [15, s. D-A-31]. Arviointi kuitenkin tehdään, jotta hyökkäyksestä päättävällä komentajalla olisi sodan oikeussääntöjen mukainen mahdollisuus verrata hyökkäyksestä saatavaa sotilaallista hyötyä sivullisille aiheutuvaan vaaraan ja vahinkoon.

Uhrien lukumäärän arvioinnissa käytetään ihmistiheystaulukoita, jotka luodaan erikseen eri operaatioihin tai toimialueille. Taulukossa on kuvattu esimerkiksi julkisiin palveluihin ja asumiseen liittyviä toimintoja ja rakennustyypppejä. Jokaiselle toiminnolle on arvioitu ihmistiheys kerrospinta-alaa kohden päivällä ja yöllä sekä joissakin tapauksissa erityisten, ennustettavasti toistuvien massatapahtumien (”episodic event”), kuten rukoushetkien tai toripäivien aikana. [15, s. D-D-1] Ihmistiheyden arvioinnissa voidaan käyttää myös tarkempia paikallistietoja, mikäli niitä on saatavissa ja ne ovat luotettavuudeltaan parempia kuin koko operaatioaluetta koskevat yleiset arviot [15, s. D-A-21].

Uhrien arvioitu lukumäärä lasketaan ihmistiheyden avulla käyttämällä hyväksi tietoja rakennuksen tai muun kohteen mittasuhteista ja kerrosten lukumäärästä. Rakennuksen katsotaan olevan vaarassa romahtaa vain siltä osin, kuin se on vaiheen 3 tai vaiheen 4 mukaisen vaara-alueen sisällä. Lisäksi laskentaan vaikuttaa tietty kerroin (”casualty factor”), joka riippuu eri-näisistä asevaikutuksen rajoittamisesta tehdyistä ratkaisuksista ja sivullisten suhteellisesta etäisyydestä maalipisteeseen. [15, s. D-D-2] CDE-kurssilla kerrotun mukaan ihmistiheystaulukoiden tekemisessä on Yhdysvalloissa tavattu hyödyntää muun muassa energialaitosten asiantuntijoita, joilla on kokemusta esimerkiksi taajamien asumistiheyksien arvioinnista. Ihmistiheystaulukoiden laatimista ei käsitellä tässä tutkimuksessa.

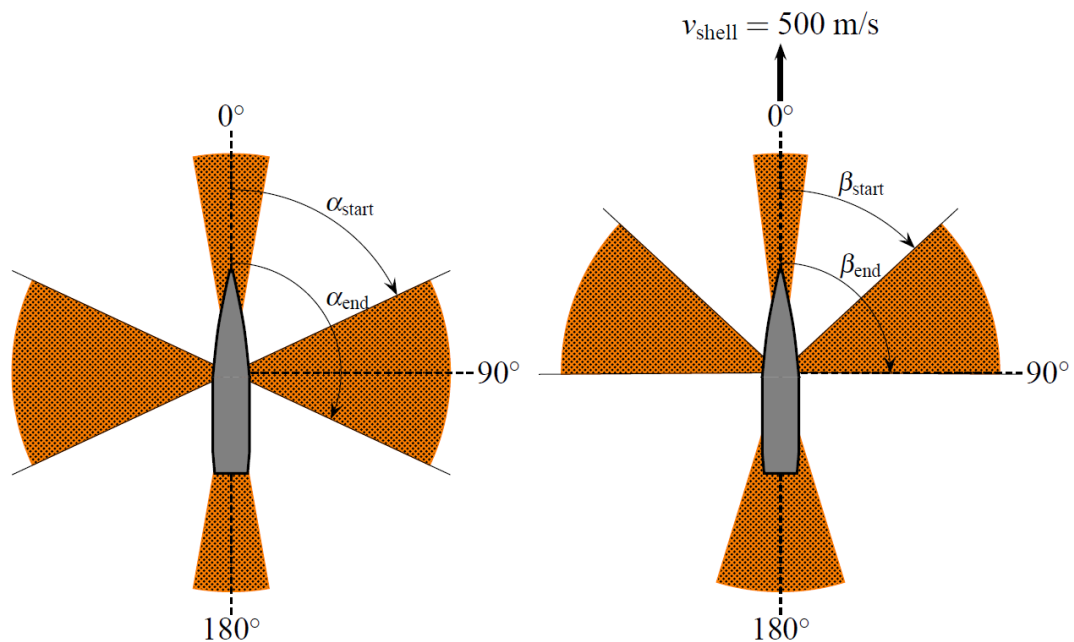
Uhrien lukumäärä arvioidaan erikseen hyökkäyksen tapahtuessa päivällä, yöllä tai mahdollisen massatapahtuman aikana. Mikäli varsinainen hyökkäyksen kohde on sekä siviilien että vihollisen taistelijoiden käytössä, kuten esimerkiksi terroristien valtaama sairaalarakennus, kohteessa olevien ei-taistelevien joukkojen lukumäärä lisätään sellaisenaan arvioituun uhrien kokonaismäärään. Operaation voiman käytön säännöissä on määritelty uhrien lukumäärälle tietty NCV-lukuarvo (Noncombatant Casualty Cutoff Value), joka ratkaisee sen, onko lopullinen arvio kohteesta ”CDE 5 Low” vai ”CDE 5 High”. Kyseinen NCV-lukuarvo on epäiteellinen ja riippuu täysin operaation poliittisen johdon tahtotilasta ja kyvystä sietää oheisvahinkoja. Mikäli tietty hyökkäyksen ajankohta jättää uhrien arvioidun lukumäärän alle NCV-arvon, tulee kyseistä ajankohtaa käyttää ja lopullinen arvio on ”CDE 5 Low”. Jos kuitenkin kyseistä raja-arvoa ei voida alittaa, arvio on ”CDE 5 High” ja kohteeseen hyökkääminen tyypillisesti vaatii luvan valtionjohdolta. [15, s. D-A-34–35]

### 3. SIRPALEVAIKUTUS IHMISIIN

#### 3.1. Sirpalevaikutuksen laskenta

Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään, kuinka oheisvahinkojen arviointimenetelmän vaiheen 3 sirpalevaikutusta kyetään arvioimaan. Tutkimuksessa sovelletaan laskennallisen tieteen menetelmiä käyttämällä Puolustusvoimien Teknillisessä Tutkimuslaitoksessa kehitettyä Sandis-taistelusimulointiohjelmistoa. Sandiksella voidaan simuloida räjähdysvaikutuksia ja se mahdollistaa vahingoittavan osuman todennäköisyyspohjaisen analyysin. Ohjelma käyttää teoreettisia laskentaperiaatteita, jotka on validoitu kenttäkokein. [21, s. 428]

Aseen taistelukärjen räjähtäessä sen metallikuori sirpaloituu. Erityyppisillä taistelukärjillä on erilaiset sirpaleiden massajakaumat ja lähtönopeudet. Sirpaleet lähtevät eri suuntiin räjähdyksestä muodostaen sirpaleviuhkoja, joiden ominaisuudet ovat taistelukärkikohtaisia ja riippuvat myös projektiilin nopeudesta räjähdyshetkellä. [10, s. 29]

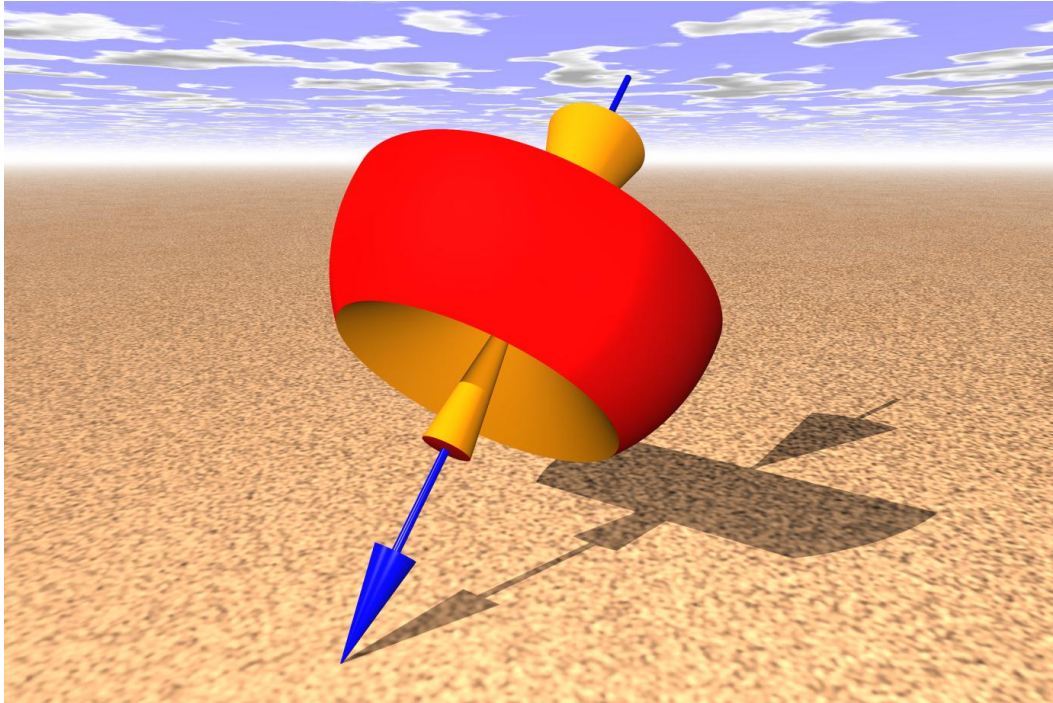


Kuva 1: Sandiksen käyttämän fysikaalisen mallin sirpaleviuhkat paikallaan ja liikkeessä räjähtäville taistelukärjille [21, s. 428]

Sandis käyttää sirpalevaikutuksen simuloimiseen fysikaalista mallia, joka laskee todennäköisyyden sille, että maalialkio saa kuolettavan osuman taistelukärjen sirpaleesta. Malli koostuu taistelukärjen sirpalejakaumasta, sirpaleen hidastuvuusmallista, sirpaleen läpäisevyysmallista sekä maalialkiomallista. Fysikaalisessa mallissa taistelukärjen sirpaleet muodostavat sirpaleviuhkoja, joiden määrä voi olla mielivaltaisen, mutta yleensä taistelukärjelle kuvataan kolme sirpaleviuhkaa: etu-, taka- ja sivuviuhkat. [21, s. 428]



Taistelukärjen nopeus räjähdys hetkellä vaikuttaa sirpaleviuhkojen suuntakulmiin [21, s. 429]. Kuvassa 1 on esitetty sirpaleviuhkojen poikkileikkauskuva paikallaan räjähtävästä ja liikkeessä olevasta taistelukärjestä. Kuvassa 2 on esitetty kolmiulotteinen havainnekuva fysikaalisen mallin sirpaleviuhkoista.



Kuva 2: Kolmiulotteinen havainnekuva Sandiksen käyttämän fysikaalisen mallin sirpaleviuhkoista [21, s. 428]

Sirpaleviuhkaan kuuluvilla sirpaleilla on tietty lähtönopeus ja sirpaleiden massajakaumana voidaan esimerkiksi käyttää yleisesti tunnettua Mottin jakaumaa

$$N(m) = N_0 \exp\left(-\sqrt{\frac{2m}{m_{avg}}}\right),$$

jossa  $N(m)$  on niiden sirpaleiden lukumäärä, joiden massa on vähintään  $m$ ,  $N_0$  on sirpaleiden kokonaismäärä ja  $m_{avg}$  on sirpaleiden keskimääräinen massa. [10, s. P5-3]

Sirpaleen nopeus matkan  $s$  päässä on

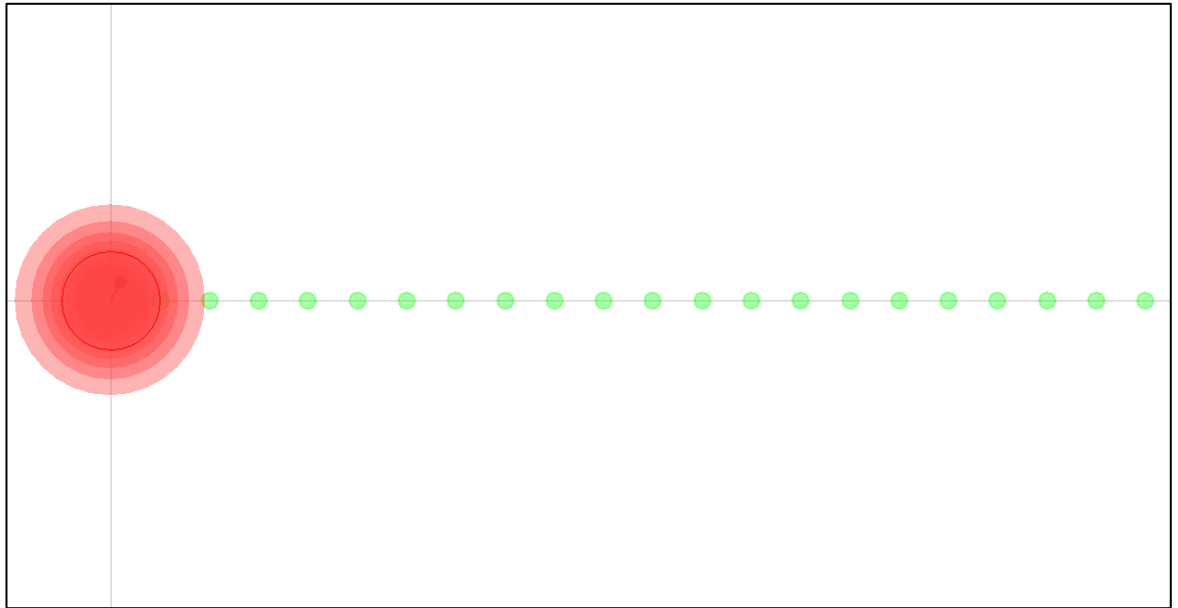
$$v(s) = (v_0 + v_2) \exp\left(\frac{-1}{c_1} \left(\frac{m_{ref}}{m}\right)^{\frac{1}{3}} s\right) - v_2,$$

jossa  $v_0$  on sirpaleen lähtönopeus, hidastuvuusmallin oletusvakioina käytetään  $c_1 = 17,51$  m ja  $v_2 = 17$  m/s ja referenssikappaleen massa  $m_{ref} = 0,4$  g. [10, s. P5-2]

Kun etäisyys räjähdyspisteestä maalialkioon on tunnettu, voidaan hidastuvuusmallia ja läpäisymallia käyttämällä laskea maalialkion läpäisyyn vaadittava iskunopeus ja pienin sirpalemassa, joka läpäisee maalialkion tietyllä etäisyydellä. Kun tiedetään pienin tarvittava massa, tehokkaiden sirpaleiden lukumäärä saadaan massajakaumasta. Todennäköisyys yhdelle sirpaleosumalle saadaan maalialkion kohtisuoran pinta-alan ja sirpaleviuhkan pinta-alan suhteena. Binomitodennäköisyyttä käyttäen voidaan laskea todennäköisyys saada vähintään yksi läpäisevä sirpaleosuma. [10]

Oheisvahinkojen arviointimenetelmässä räjähdyksiä tarkastellaan melko yleisellä tasolla, jotta vaaraetäisyydestaulukot olisivat monikäyttöisiä. Oheisvahinkoja konservatiivisesti arvioidessa ei ole järkevää tehdä oletusta, että sivullinen henkilö voisi jäädä turvallisesti sirpaleviuhkojen katveeseen. Hyökkäyssuuntaa varten annetaan rajoituksia tietyillä periaatteilla [15, s. D-A-24], mutta aseiden tulokulman aiheuttamaa sirpaleiden epätasaista jakautumista ei huomioida, vaan vaara-alue on ympyrän muotoinen. Tästä syystä tutkimuksessa on asetettu aseiden tulokulmaksi 90 astetta eli kohtisuoraan ylhäältäpäin, jolloin suurimman osan sirpaleista sisältävä sivuviuhka leviää tasaisesti joka suuntaan.

Vaarallisen sirpaleosuman todennäköisyyttä on tarkasteltu sijoittamalla ihmisen haavoittuvaa pinta-alaa vastaavia maalialkioita säännönmukaisesti 10 metrin välein ja simuloimalla taistelukärkien räjähdystä. Tutkimuksen tarkasteluissa ihmisen haavoittuvana pinta-alana on käytetty  $0,45 \text{ m}^2$  [17, s. 31]. Maalialkiot on asemoitu Sandiksessa siten, että koko haavoittuva pinta-ala on näkyvissä räjähdysten suunnasta. Taistelukärjen räjäytyksen jälkeen on tarkasteltu maalialkioiden vahvuuksien odotusarvoja. Näin on selvitetty, mikä on todennäköisyys saada hengenvaarallinen osuma eri etäisyyksillä räjähdyksestä. Kuvassa 3 on näkymä maalialkioiden sijoittelusta Sandiksessa.



Kuva 3: Sirpalevaikutuksen tarkastelu Sandis-ohjelmistolla

Naton oheisvahinkojen arviointimenetelmä ei anna tarkkaa ohjeistusta siihen, kuinka asejärjestelmien osumatarkkuutta tulisi käsitellä, vaan se jätetään periaatteessa vaaraetäisyydet tuottavien valtioiden vastuulle [13, s. 2]. Yhdysvaltojen arviointimenetelmässä käytetään seuraavia määritelmiä:

- Circular Error 90 (CE90) on säde sille maalipisteen ympärille vaakatasoon muodostuvalle ympyrälle, jonka sisälle 90 prosenttia ammuksista voidaan odottaa osuvan.
- Target Location error (TLE) kuvaa eroa maalin todellisen paikan ja sille määritettyjen koordinaattien välillä. TLE90 on säde sille ympyrälle, joka muodostuu määritettyjen koordinaattien ympärille, kun maalin todellinen paikka on sen sisällä 90 prosentin todennäköisyydellä.
- Total error 90 (TE90) on edellisistä muodostuva kokonaisvirhe, joka lasketaan seuraavasti:  $TE90 = \sqrt{CE90^2 + TLE90^2}$  [15, s. D-A-5]

Kokonaisvirhe riippuu siten aseiden ohjautusjärjestelmän tarkkuudesta ja tiedustelun suorituskyvyistä.

Ohjautusjärjestelmän tarkkuus on asekohtainen. Täsmäaseen todellinen tekninen hakeutumistarkkuus riippuu monista seikoista; esimerkiksi kuvaa muodostavien hakupäiden ollessa kyseessä tarkkuus riippuu muun muassa hakupään evästyksen onnistumisesta, kohteen geometriasta sekä vuodenajasta, maastosta ja muusta toimintaympäristöstä. Toisaalta GPS-hakeutuviin aseisiin voidaan vaikuttaa elektronisella häirinnällä. Kullekin täsmäaseelle voidaan kuitenkin määritellä yleinen osumatarkkuus, joka kuvaa sen suorituskykyä oheisvahinkojen arviointiin riittävällä tarkkuudella. Osumatarkkuutena voidaan käyttää aseiden valmistajan ilmoittamaa arvoa, mikäli sitä pidetään realistisena.

Maalittamisessa syntyvä paikkavirhe taas on maali- ja tilannekohtainen ja se riippuu muun muassa tekniikasta, jolla maalin koordinaatit on määritetty. Oheisvahinkojen arvioinnissa tarvittavia vaaraetäisyystaulukoita luotaessa on määriteltävä paikkavirhe, joka kuvaa tiedustelun paikannuskykyä. Paikkavirhe voi olla esimerkiksi GPS-hakeutuville aseille yhteinen ja kuvaa muodostaville hakupäille asekohtainen. Aseen osumatarkkuutta ja maalin paikkavirhettä määritettäessä voidaan haluttaessa käyttää Yhdysvaltojen tapaan 90 % tapauksista kattavia virhemäärittelyksiä, mutta asia on kuitenkin periaatteessa Suomen ratkaistavissa [13, s. 2]. Tässä julkisessa tutkimuksessa kokonaisvirhettä on yksinkertaisuuden vuoksi käsitelty siten, että Sandiksessä leveys- ja pituussuuntaisena keskihajontana on käytetty arvoa 10 metriä.

Laskennassa käytetyt tärkeimmät parametrit eli muun muassa sirpaleiden lähtönopeus sekä sirpaleviuhkojen alku- ja loppukulmat sekä niihin kuuluvien sirpaleiden lukumäärät ja keskimassat on kirjattu liitteeseen 1. Taistelukärkien räjähdysaineiden tyypit ja määrät sekä niiden TNT-ekvivalentit on lueteltu luvun 4 taulukossa 3.

Jane'sin [1, s. 6] mukaan JSOW:n kuori hajoaa kolmen gramman terässirpaleiksi. Laskennassa on lähtökohtaisesti oletettu, että koko pommikuori muodostuu niistä. Asia on kuitenkin moniselitteinen, joten JSOW:in osalta on tehty erillinen herkkyystarkastelu, jossa on tarkasteltu kuinka vaaraetäisyys käyttäytyy, jos vain osa kuoresta on esisirpaloitu.

JASSM:in sirpalejakaumasta ei ole tietoa julkisissa lähteissä, joten sen sirpaletiedot perustuvat BLU-109 -tunkeumapommin tietoihin, joista sirpalemäärä on skaalattu vastaamaan taisteluosan kuoren painoa. Laskentatuloksiin on suhtauduttava kriittisesti, mutta tarkkuus riittää tämän julkisen tutkimuksen tarpeisiin.

### 3.2. Sirpalevaikutuslaskennan tulokset

Sandiksella lasketut räjähdysvaikutuksen tulokset ovat taulukossa 1, johon on kirjattu asekohtaisesti todennäköisyys saada hengenvaarallinen osuma eri etäisyyksillä. Vihreällä värillä on merkitty se etäisyys, jossa tehokkaan osuman todennäköisyys on alle 10 prosenttia.

Taulukko 1: Vaarallisen sirpaleosuman todennäköisyys etäisyyden suhteen

	Mk-82	Mk-83	Mk-84	BLU-109	JSOW	JASSM
10 m	97,7 %	98,0 %	100,0 %	98,8 %	98,2 %	97,5 %
20 m	88,5 %	92,0 %	98,1 %	95,7 %	98,1 %	90,7 %
30 m	79,5 %	75,4 %	88,9 %	82,1 %	90,3 %	73,8 %
40 m	55,9 %	50,5 %	65,3 %	54,9 %	56,5 %	50,0 %
50 m	33,4 %	29,1 %	46,6 %	48,6 %	67,4 %	34,5 %
60 m	28,0 %	26,0 %	30,0 %	37,8 %	54,2 %	26,4 %
70 m	16,9 %	17,8 %	25,1 %	28,0 %	46,2 %	18,3 %
80 m	11,1 %	11,8 %	16,8 %	18,9 %	35,3 %	10,3 %
90 m	7,1 %	2,1 %	11,7 %	9,4 %	27,7 %	0,0 %
100 m	5,3 %	0,0 %	1,5 %	0,0 %	26,5 %	0,0 %
110 m	3,9 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	18,8 %	0,0 %
120 m	2,8 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	18,3 %	0,0 %
130 m	1,9 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	17,1 %	0,0 %
140 m	1,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	12,9 %	0,0 %
150 m	0,9 %		0,0 %	0,0 %	12,3 %	0,0 %
160 m	0,7 %		0,0 %	0,0 %	10,4 %	0,0 %
170 m	0,5 %		0,0 %	0,0 %	9,0 %	0,0 %
180 m	0,3 %			0,0 %	8,0 %	0,0 %
190 m	0,2 %			0,0 %	5,1 %	
200 m	0,0 %				6,3 %	
210 m					4,1 %	
220 m					1,4 %	

Hyvin lähellä räjähdystä myös painevaikutus lisää vahingoittumisen todennäköisyyttä, mikä voi näkyä tuloksissa lyhimpien etäisyyksien osalta. Sirpale- ja painevaikutusta ei voida Sandiksessa käyttäjän toimenpitein erotella ja taulukon luvut ilmaisevatkin todennäköisyyden hengen menetykseen joko sirpaleosumasta tai painevaikutuksen vuoksi. Suurin osa henkilövahingoista tulee yleensä taistelukärkien sirpalevaikutuksesta [10, s. P5-6]. Taistelukentällä painevaikutuksella voi kuitenkin olla merkitystä esimerkiksi tilanteessa, jossa hyvin sirpaleilta suojautuneen taistelijan lähelle osuu räjähtävä projektiili.

Asialla ei ole kuitenkaan merkitystä oheisvahinkojen arvioinnin vaiheen 3 kannalta, koska arvioinnissa käytettäväksi vaaraetäisyydeksi joka tapauksessa valitaan etäisyys, joka on niin kaukana räjähdyspisteestä, että paineella ei ole enää merkitystä vahingoittumisen todennäköisyyttä lisäävänä tekijänä. Ihminen sietää ylipainetta varsin hyvin ja vaikka tärykalvot ovatkin melko herkäät puhkeamaan, suoranainen hengen menetys pelkän ylipaineen vuoksi voi edellyttää vähintään 400 kPa:n ylipainetta [20, s. 1]. Suurimmankin tarkastelussa olevan taistelukärjen eli Mk-84:n olleessa kyseessä tämä vastaa vain noin 13 metrin etäisyyttä (kts. painevaikutuslaskennan periaatteet luvussa 4.1.). Toki pienemmänkin ylipaineimpulssin aikana ihminen on vaarassa menettää henkensä esimerkiksi kaatuessaan, mutta sitä on mahdotonta yleispätevästi ennustaa.

JSOW:n osalta tehtiin Sandiksella erillinen herkkyystarkastelu, koska tiedot sirpalejakaumasta olivat moniselitteiset ja lähtöoletus 33.000 sirpaleella tuotti verrattain suuren vaaraetäisyyden. Sirpalemääriä tarkasteltiin 10 % portain alaspäin 50 %:iin asti lähtöoletukseen verrattuna. Taulukkoon 2 on kirjattu etäisyydet, joilla tehokkaan sirpaleosuman todennäköisyys on alle 10 prosenttia. Tarkastelusta nähdään havainnollisesti sirpaleiden lukumäärän vaikutus vaaraetäisyyden muodostumiseen.

Taulukko 2: JSOW:in sirpaleiden lukumäärän vaikutus vaaraetäisyyteen

Sirpaleita	Vaaraetäisyys
33000	170 m
29700	160 m
26400	150 m
23100	140 m
19800	130 m
16500	110 m

### 3.3. Sirpalevaikutuksen pienentäminen

Oheisvahinkojen arviointimenetelmän vaiheessa 3 sivulliselle aiheutuvaa vaaraa voidaan vähentää käyttämällä viivesytytintä siten, että taistelukärki räjähtää kokonaisuudessaan maan alla tai hyökkäyksen kohteena olevan rakennuksen sisällä. Tällöin sirpalevaikutusta saadaan pienennettyä (eng. mitigate). Suurin uhka sivullisille ei silloin aiheudukaan enää taistelukärjen sirpaleista vaan räjähdysen voimasta syntyneestä kraaterista lentävästä maa-aineksesta tai kohteena olevasta rakennuksesta sinkoutuvista rakenteiden jäänneistä. [15, s. D-C-1] Viivesytyttimillä varustetuille taistelukärjelle annetaan referenssitaulukoissa sirpalevaikutusetäisyyden lisäksi vaaraetäisyys, joka kuvaa pienennetyn vaikutuksen tapausta [15, s. D-A-18].

Arviointimenetelmää käytettäessä ei oteta kantaa pienennetyn vaikutuksen vaaraetäisyyksien laskennassa käytettyihin oletuksiin, kuten maa-aineksen laatuun tai kohteena olevan rakennuksen kokoon tai rakenteisiin, vaan kaikki tapaukset pelkistetään yhdeksi vaaraetäisyydeksi. Lisäksi taistelukärjen ei tarvitse välttämättä upota syvälle maan sisään, vaan sirpalevaikutuksen pienentämisehdon täyttymiseksi riittää, että se on räjähdysketkellä kokonaan maan sisällä [15, s. D-A-23]. Käytännössä taistelukärki voi siis räjähtää joko usean metrin syvyydessä tai lähes maan pinnassa.

Näin ollen on selvää, että pienennetyn vaikutuksen määritelmä väistämättä sisältää useita, keskenään varsin erilaisia tilanteita. Saatavilla olevassa lähdemateriaalissa pienennetyn vaaraetäisyyden laskentaperusteita ei eksplisiittisesti selitetä, mutta lähteisiin perehtymällä on pääteltävissä, että pienennetyn vaikutuksen vaaraetäisyydet on laskettu nimenomaan maan alla – eikä rakennusten sisällä – räjähtävistä taistelukärjistä [15, s. D-A-18 ja s. D-A-27; 6, s. 1028].

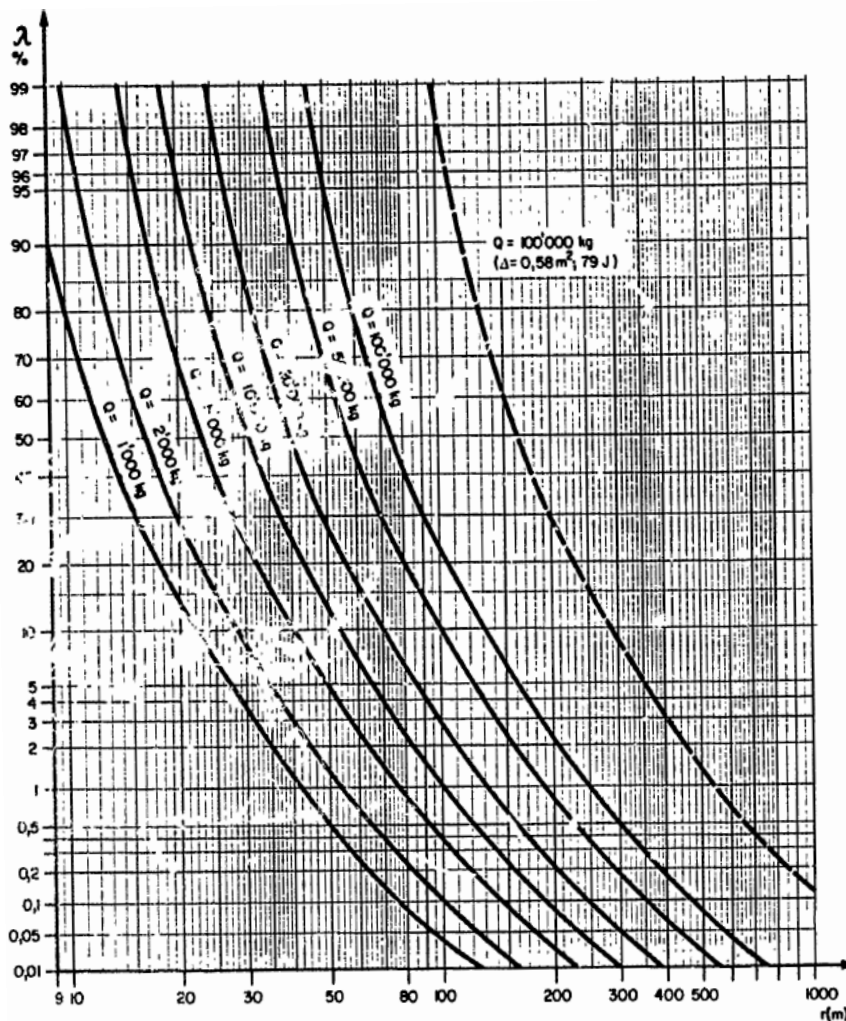
Vaikka maan alla tapahtuvien räjähdysten synnyttämien kraaterien koon laskemiseksi on olemassa useita menetelmiä [5; 6; 7], kraaterista lentävän maa-aineksen vaarallisuudesta ihmisille on olemassa verrattain vähän julkista tietoa [11, s. II-5-62], joka soveltuisi oheisvahinkojen arviointiin. Yhdysvaltalaisissa lähteissä viitataan usein JWS-ohjelmiston (Joint Weapon Engineering System) laskentamalleihin [6, s. 1028], jotka ovat tältä osin salaisia. Aihepiiri kuitenkin edelleen herättää sotilasyhteisöissä kiinnostusta, sillä räjähdysten jäännösten tutkimista varten on laadittu Naton toimeksiannosta yksityiskohtaiset ohjeet [18].

Useimmat aiheesta tehdyt julkiset tutkimukset on laadittu räjähtävän materiaalin varastointia [9] tai räjähtämättömien ammusten turvallista tuhoamista [5] silmälläpitäen, jolloin tutkimusten tuottamien laskentamallien tarkoituksena on yleensä tuottaa maksimietäisyys, johon maa-ainesta ylipäänsä voi lentää räjähdysen voimasta. Kyseisten mallien tuottamat etäisyydet ovat tällöin huomattavasti pidempiä kuin oheisvahinkojen arvioinnissa käytettävät vaaraetäisyydet. Esimerkiksi BEM-ohjelmisto (Buried Explosion Module) tuottaa vain yhdeksän kilogramman TNT:tä vastaavalle räjähdykselle jo yli 100 metrin vaaraetäisyyden [5, s. 12]. Oheisvahinkojen arvioinnissa sen sijaan merkitystä on lähinnä hengenvaarallisilla osumilla, ja 10 % todennäköisyys ko. osumalle voidaan hyväksyä vielä vaaraetäisyyden päässä räjähdyksestä.

Tähän tutkimukseen parhaiten soveltuva, julkisista lähteistä löydetty laskentamalli perustuu sveitsiläiseen tutkimukseen, jossa arvioitiin räjähdysen synnyttämästä kraaterista lentävän maa-aineksen massajakaumaa sekä kappaleiden osumisen todennäköisyyttä ja vaarallisuutta ihmiselle [8]. Ihmiskeho jaettiin osiin, joilla on erilainen haavoittuvuus. Menetelmässä tarkasteltiin yksittäisen maa-aineksen palasen ja koko maa-ainesryöpyn todennäköisyyttä osua ihmiseen ja aiheuttaa hengen menetys. Tutkimuksessa päädyttiin laskemaan kraaterista lentävän maa-aineksen todennäköisyys aiheuttaa kuolettava osuma ihmiselle seuraavasti [8, s. 1524]:

$$P = 1 - e^{-27 \cdot m^{1,4} \cdot r^{-3,6} \cdot \beta}$$

Kaavassa  $P$  on kuolettavan osuman todennäköisyys,  $m$  on räjähdysaineen määrä TNT-ekvivalenttina (kg) ja  $r$  on etäisyys räjähdyksestä (m). Termi  $\beta$  saa arvon 0,015 tarkastelussa olevien ihmisten ollessa seisovassa asennossa ja maalajin ollessa moreenin kaltaista, eikä koheesiivista kuten savimaa. Tutkimusraportista ei ilmene, millä periaatteilla kyseistä termiä voitaisiin varioida. Kaaviossa 1 on esitetty käyrästä erilaisille räjähdysvoimakkuuksille.



Kaavio 1: Todennäköisyys saada kuolettava osuma kraaterista lentävästä maa-aineksesta [8, s. 1525]



Taulukossa 3 on esitetty tarkastelussa oleville aseille ja taistelukärjille näin lasketut, enintään 10 % kuolleisuuden tuottavat pienennetyt vaaraetäisyydet sekä sellaisenaan että käyttämällä lisäksi luvussa 3.1. esitettyä TE90-arvoa. Tässä julkisessa tutkimuksessa on esimerkkinä käytetty sekä ohjautusjärjestelmän virheenä (CE90) että maalittamisen paikkavirheenä (TLE) arvoa 10 metriä, jolloin laskennallinen kokonaisvirhe (TE90) on noin 14 metriä.

Taulukko 3: Pienennetyt vaaraetäisyydet

Ase	TNT (kg)	r (m)	r + TE90 (m)
Mk-82	110	10	24
Mk-83	239	13	27
Mk-84	542	17	31
BLU-109	249	13	27
JSOW	125	10	24
JASSM	194	12	26

On todettava, että lasketut pienennetyt vaaraetäisyydet (ilman kokonaisvirhettä) vaikuttavat melko lyhyiltä ja ovat vain hieman pidempiä kuin ihmiselle vaaralliset painevaikutusetäisyydet (vrt. pohdinta luvussa 3.2.). Syynä voi olla, että laskentamalli on suunniteltu sovellettavaksi jopa 100.000 kilogramman räjähdysainetta varten ja se ei ehkä skaalaudu kovin hyvin tarkastelussa olevien taistelukärkien pienempiin räjähdysainemääriin.

### 3.4. Päätelmiä

Sandis-ohjelmistoa voidaan hyvin käyttää määrittäessä oheisvahinkojen arviointimenetelmän vaiheen 3 mukaisia vaaraetäisyyksiä, kun tarkastelun kohteena on maan päällä räjähtävien taistelukärkien sirpalevaikutus. Laskentaparametrina käytetyllä sirpaleiden jakaumalla on ratkaiseva merkitys vaaraetäisyyksien muodostumiselle. Oheisvahinkojen arvioinnissa maali-alkiona käytetään suojattomia ihmisiä, jotka jo pienetkin sirpaleet läpäisevät. Näin ollen suhteellisesti vaarallisimpia sivullisille ovat taistelukärjet, joista lähtee lukumääräisesti paljon sirpaleita. Räjähdysaineen määrällä on vähäisempi merkitys. Mark-80 sarjan taistelukärkien vaaraetäisyyksillä onkin pienemmät erot, kuin mitä pelkästään taistelukärjen painosta tai räjähdysaineen määrästä voisi päätellä. Tilanne muuttuisi huomattavasti, jos maali-alkiona käytettäisiin esimerkiksi panssaroituja ajoneuvoja, joiden läpäisemiseen tarvitaan suurienergisii sirpaleita.

Operatiiviseen käyttöön tarkoitetut oheisvahinkojen arviointiin tarvittavat vaaraetäisyydet voidaan laskea käyttämällä salaisia lähtöarvoja. Uusimpien ilmasta maahan -aseiden sirpalejakaumasta on julkisissa lähteissä vain vähän tietoa. Tällä ei kuitenkaan ollut merkitystä tämän tutkimuksen kannalta, kun tavoitteena oli laskentamenetelmien tutkiminen. Tutkimuksessa esiteltyä menetelmää voidaan käyttää sellaisenaan, kun Sandikseen syötetään parametreiksi tarkemmat tiedot taistelukärkien sirpalejakaumista ja muista ominaisuuksista.

Maan alla räjähtävien taistelukärkien osalta esiteltiin malli, joka tutkituista menetelmistä parhaiten vastaa oheisvahinkojen arvioinnissa tarvittavaa laskentatapaa. Valtaosa lentävän maan aineksen vaarallisuutta käsittelevistä tutkimuksista on tehty normaaliolojen tarpeisiin tai varmistamaan omien joukkojen turvallisuus, ja niiden laskentamallit tuottavat huomattavasti pidempiä vaaraetäisyyksiä, kuin mitä oheisvahinkojen arvioinnissa käytetään. Toisaalta tässä tutkimuksessa esitelty malli tuottaa mahdollisesti liiankin lyhyitä vaaraetäisyyksiä. Maan alla räjähtävien taistelukärkien osalta tarvitaan jatkotutkimuksia tai tässä esitettyjen tulosten validointia jollain vaihtoehtoisella menetelmällä.

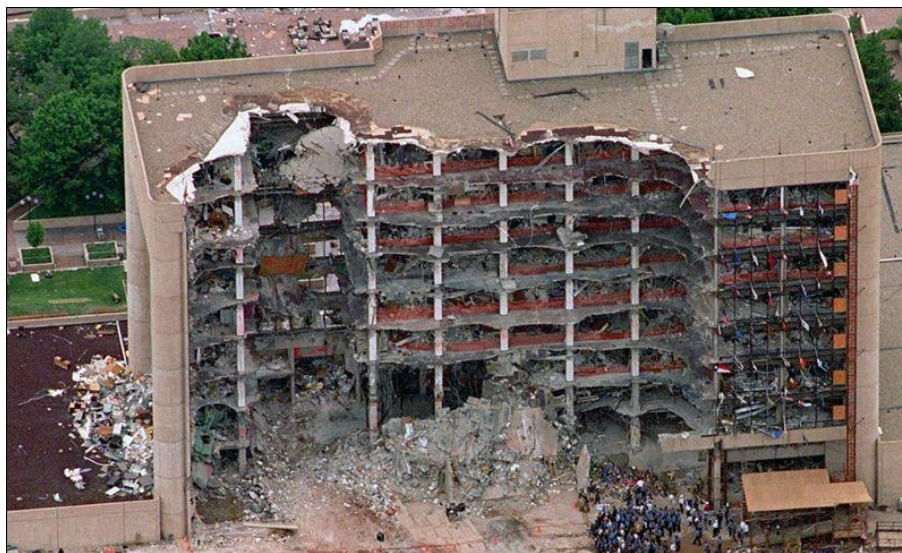
## 4. PAINEVAIKUTUS RAKENNUKSIIN

### 4.1. Painevaikutuksen laskenta

Taistelukärjen räjähtäessä suuri määrä energiaa vapautuu lyhyessä ajassa, jolloin ilmanpaine ja lämpötila räjähdyspisteen ympärillä nousevat nopeasti. Vapaassa tilassa ylipaine etenee ilmakehässä tai muussa väliaineessa joka suuntaan pallon muotoisena räjähdysaaltona. [6, s. 811] Räjähdysten aiheuttama ylipaine on siten kääntäen verrannollinen etäisyyden kuution ( $1/r^3$ ) [6, s. 9]. Ylipaine etenee aluksi räjähdysaaltona ääntä nopeammin, kunnes se hidastuu ja käyttäytyy lopulta ääniaallon tavoin. Mitattuna tietyn matkan päästä räjähdyspisteestä havaitaan ylipaineaallon jälkeen paineen nopea lasku alipaineen puolelle, minkä jälkeen paine palautuu vastaamaan normaalia ilmakehän painetta. [6, s. 811–812]

Todellisuudessa räjähdysaallon etenemiseen vaikuttavat maanpinta, kantavat seinärakenteet ja muut esteet, jotka aiheuttavat häiriötä räjähdysaallon suoraviivaiseen etenemiseen. [6, s. 824–825]. Ilmanpaineen ja rakennuksen interaktio on monimutkainen tapahtuma, jossa voi syntyä paineheijastuksia, pyörteitä ja rakennuksen takapuolelle diffraktoituneita aaltorintamia. [12, s. 13]

Oheisvahinkojen arviointimenetelmässä vaiheessa 4 käytetään yksinkertaistettua referenssitaulukkoa, jossa on määritelty jokaiselle taistelukärjelle vaaraetäisyys kutakin tarkasteltavaa rakennustyyppiä kohden. Vaaraetäisyyden avulla muodostettava ympyränmuotoinen vaara-alue määrittää sen alueen, jonka sisäpuolelle jäävä rakennus on vaarassa romahtaa. [15, s. D-A-24] Mikäli oheisvahinkojen arviointi etenee vaiheesta 4 vaiheeseen 5 ja rakennus jää vaara-alueen sisälle vain osittain, vaara-aluetta käytetään määriteltäessä sitä osaa rakennuksesta, joka huomioidaan uhrien lukumäärää arvioitaessa. [15, s. D-A-34] Laskentatapa vastaa tilannetta, jossa vain osa rakennuksesta romahtaa, ja romahtavassa osassa olevat ihmiset menettävät henkensä. Esimerkki pommin räjähdysten johdosta osittain romahtaneesta rakennuksessa on kuvassa 4.



Kuva 4: Osittain romahtanut rakennus

Vaiheessa 4 määrätään aina käytettäväksi viivesytytintä siten, että sirpalevaikutuksen pienentämiseksi taistelukärki räjähtää kokonaan kohteena olevan rakennuksen sisällä, tai mikäli kohde ei ole rakennus, kokonaan maan sisällä [15, s. D-A-23]. Jos hyökkäyksellä tavoiteltava asevaikutus ei salli viivesytyttimen käyttöä, vaihe 4 ohitetaan ja siirrytään vaiheesta 3 suoraan vaiheeseen 5 [15, s. D-A-20].

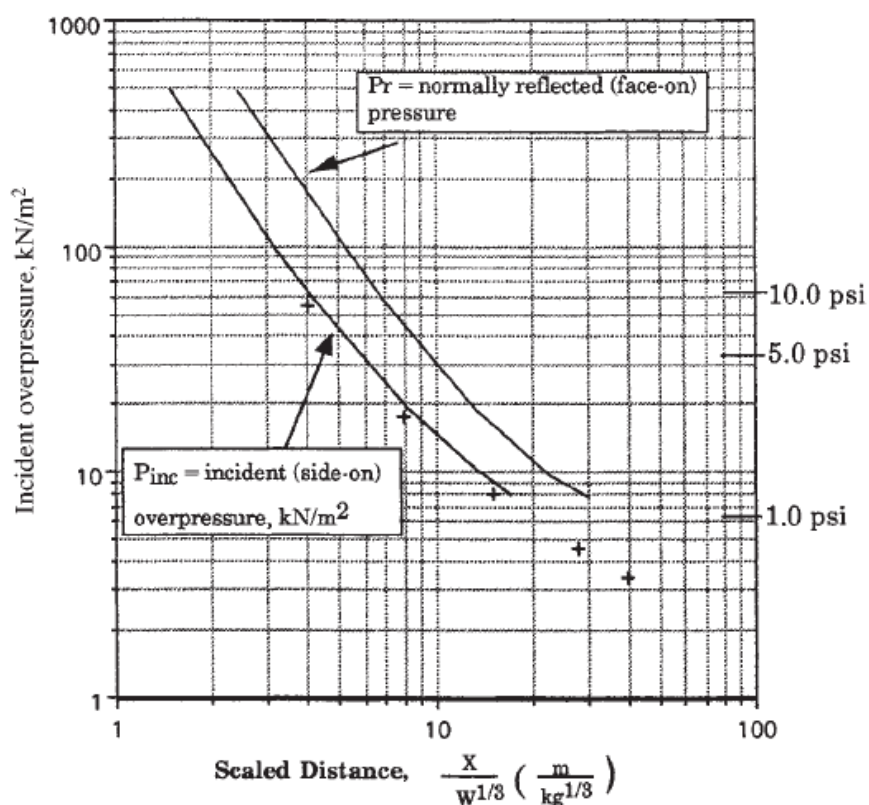
On merkille pantavaa, että oheisvahinkojen arviointimenetelmän painevaikutuksen laskennassa ei huomioida varsinaisen aseellisen hyökkäyksen kohteena olevan maalin laatua tai lujuutta, vaan vain sivullisia sisältävän, lähistöllä sijaitsevan rakennuksen rakenteilla on merkitystä. Ratkaisua ei perustella tai muutenkaan käsitellä lähdemateriaalissa. Ohjeistuksessa kuitenkin mainitaan, että varsinaisen maalin ominaisuudet, jotka voisivat mahdollisesti vaimentaa painevaikutusta, jätetään kokonaan huomiotta. [15, s. D-A-24] Oletettavasti ratkaisu on tehty menetelmän yksinkertaistamisen ja käytettävyyden vuoksi. On myös hyväksytty se tosiasia, että operaatioalueella sijaitsevien rakennusten sisäinen rakenne on useimmissa tapauksissa tuntematon [6, s. 1029].

Suurin osa räjähdysten painevaikutusten tutkimuksesta on tehty käyttämällä räjähdysaineena trinitrotolueeniä eli TNT:tä, joten siitä on saatavilla eniten kokeellista dataa [11, s. II-5-19]. Laskettaessa muun räjähdysaineen kuin TNT:n vaikutusta voidaan käyttää sen TNT-ekvivalenttia, joka ilmaisee räjähdysaineen tehon suhteessa TNT:hen. TNT-ekvivalentti saadaan, kun taistelukärjen räjähdysaineen paino kerrotaan räjähdysainekohtaisella räjähdystehoindeksillä (relative effectiveness factor). Taulukossa 2 on tutkimuksessa tarkasteltujen aseiden räjähdysainemäärät muutettuna niiden TNT-ekvivalenteiksi.

Taulukko 4: Ilmasta maahan -aseiden TNT-ekvivalentteja [2; 3; 4; 14]

Ase	Räjähdysaine	Määrä (kg)	TNT-ekvivalentti (kg)
Mk-82	H-6	87	110
Mk-83	H-6	189	239
Mk-84	H-6	429	542
BLU-109	Tritonal	246	249
JSOW	PBXN-109 /110	41+46	125
JASSM	AFX-757	103	194

Oheisvahinkojen arvioinnissa tarvittavat painevaikutuksen vaaraetäisyydet voidaan muodostaa vertailemalla räjähdysen aiheuttamaa ylipainetta rakennuksen ylipainekestävyyteen. Kokeelliseen dataan perustuva ylipaine kuvaaja on esitetty kaaviossa 2.



Kaavio 2: Ylipaineen pieneneminen etäisyyden suhteen [16, s. 26-18]

Kuvaajasta on lineaarisella regressiolla muodostettu kaava

$$r = k \frac{m^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{p}},$$

jossa  $m$  on räjähdysaineen määrä (kg) TNT-ekvivalenttina,  $p$  on rakennuksen romahtamisen aiheuttava ylipaineraja (kPa),  $k$  on kaavalle määritelty kulmakerroin 32,87 ja  $r$  on pisin etäisyys (m), jossa ylipaineraja ylittyy. [10, s. P5-6] Kaavaa on käytetty tämän tutkimuksen painevaikutuslaskennassa.

## 4.2. Painevaikutuslaskennan tulokset

Laskentaan on otettu esimerkkejä rakennuksista ja rakenteista, joiden ylipaineenkestävyys tunnetaan [11, s. II-5-65]. Asekohtaiset painevaikutuksen vaaraetäisyydet on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5: Painevaikutuslaskennan tuottamat vaaraetäisyydet (m)

Rakennustyyppi	Ylipaineraja (kPa)	Mk-82	Mk-83	Mk-84	BLU-109	JSOW	JASSM
Asuintalo (yleinen)	80,9	18	23	30	23	18	21
Raudoittamaton rakennus	70,3	19	24	32	25	20	23
Tiiliseinä 20–30 cm	56,3	21	27	36	28	22	25
Tiiliseinä 45 cm	91,4	16	21	28	22	17	20
Peltihalli	21,1	34	44	58	45	36	41
Puutalo	28	30	39	51	39	31	36

Tuloksista nähdään, kuinka laskettu vaaraetäisyys pienenee rakenteen ylipaineenkeston kasvaessa ja toisaalta kasvaa taistelukärjen räjähdysvoiman lisääntyessä. Koska räjähdysten aiheuttama ylipaine on kääntäen verrannollinen etäisyyden kuutioon, vaaraetäisyydet eivät kuitenkaan kasva dramaattisesti taistelukärjen räjähdysainemäärän lisääntyessä.

## 4.3. Päätelmiä

Oheisvahinkojen arviointimenetelmän vaiheessa 4 käytettävät vaaraetäisyydestaulukot voidaan laatia käyttämällä yleisiä painevaikutuslaskennan periaatteita ja hyödyntämällä laskennassa räjähdysaineen TNT-ekvivalenttia, kun taistelukärjen räjähdysainemäärä ja -tyyppi tunnetaan. Vaaraetäisyyksiä määritettäessä on tunnettava sivullisia mahdollisesti sisältävien rakennusten ylipaineenkesto.

Oheisvahinkojen arviointimenetelmässä on tehty ratkaisu jättää varsinaisena maalina olevan kohteen ominaisuudet huomioimatta. Tämä yksinkertaistaa vaaraetäisyyksien määrittämistä, mutta vaaraetäisyyksistä tulee väistämättä karkeahkoja yleistyksiä. Menetelmän vaiheessa 4 taistelukärki tulee ohjeiden mukaan räjäyttää joko rakennuksen sisällä tai kokonaan maan alla. Määritelmä kattaa melkoisen skaalan erilaisia tilanteita, joissa painevaikutus suuntautuu eri tavalla. Maa-aineksen kovuus voi vaihdella ja viivesytyttimen tarkka käyttö vaikuttaa tosielämän tuloksiin. Vaatimuksen täyttymiseksi riittää minimissään, että taistelukärki tunkeutuu vain oman mittansa verran maan sisään [15, s. D-A-23], jolloin tilanne ei painevaikutuksen kannalta olennaisesti poikkea siitä, että taistelukärki räjähtäisi maan pinnan tasalla. Toisaalta taistelukärjen painevaikutukseen väistämättä vaikuttaa, jos se tunkeutuu hyvin syvälle maahan ennen räjähdystä.

Ratkaisu on kuitenkin johdonmukainen sen periaatteen kanssa, että oheisvahinkojen arviointimenetelmän on oltava yksinkertainen ja toistettavissa sekä tuotettava konservatiivinen arvio sivullisille aiheutuvasta uhasta [15, s. D-A-1]. Olisi haasteellista huomioida eri taistelukärkien räjähdysvaikutusten lisäksi sekä maalin että sivullisia sisältävien rakennusten kestävyys ja muut ominaisuudet. Tehdyt yksinkertaistukset lisäävät arviointimenetelmän käytettävyyttä. Lisäksi on muistettava, että vaikka vaaraetäisyystaulukot luodaan pitkälti tieteellisin menetelmin, oheisvahinkojen arviointi ei prosessina ole tarkkaa tiedettä vaan se sisältää epävarmuuksia. Menetelmä onkin tarkoitettu systemaattiseksi päätöksenteon apuvälineeksi ja sen käyttäminen myös pienentää oheisvahinkojen riskiä [15, s. D-2].

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella, kuinka voidaan määrittää oheisvahinkojen arviointimenetelmän käytössä tarvittavat asevaikutusten vaaraetäisyydet. Tutkimuksessa esitettiin laskentamenetelmät oheisvahinkojen arviointimenetelmän eri vaiheissa tarvittavien vaaraetäisyydestaulukoiden laadintaa varten.

Vaaraetäisyydet voidaan periaatteessa määrittää luonnontieteellisin menetelmin. Arviointimenetelmän käytettävyyden vuoksi vaaraetäisyyksien määrittämisessä on kuitenkin tehty yleistyksiä, joiden vuoksi esimerkiksi keskenään erilaisia käytännön tilanteita on yhdistetty samaan vaaraetäisyysryhmään. Näin ollen lopullisiin vaaraetäisyyksiin väistämättä vaikuttavat myös tehdyt käytännön kompromissit ja muut valinnat. Käytettävissä olevista lähteistä ei kaikilta osin selviä, millaisia valintoja esimerkiksi Yhdysvalloissa ja muissa Naton jäsenvaltioissa on tarkkaan ottaen tehty vaaraetäisyydestaulukoiden yksinkertaistamiseksi. Vaaraetäisyyksien määrittäminen on kuitenkin jätetty ensisijaisesti kansallisvaltioiden tehtäväksi, joten mitkä tahansa tieteellisesti pätevät ja perusteltavissa olevat menetelmät ovat periaatteessa hyväksyttävissä.

Sandis-ohjelmisto soveltuu hyvin oheisvahinkojen arvioinnin vaiheessa 3 tarvittavaan maan pinnan yläpuolella räjähtävien taistelukärkien sirpalevaikutuksen systemaattiseen arviointiin. Ohjelmiston käyttämän fysikaalisen mallin laskentaperiaatteet on tositettu räjähdyskokein ja niitä voidaan pitää luotettavina.

Oheisvahinkoja tarkastellessa taistelukärjille määriteltävät sirpaleiden massajakaumat ja varsinkin sirpaleiden lukumäärät vaikuttavat ratkaisevasti tuloksiin. Kun maalialkiot ovat suojattomia ihmisiä, pienetkin sirpaleet ovat hengenvaarallisia. Näin ollen pieniin osiin sirpaloituva taistelukärki on tehokkaampi ja tuottaa suuremman vaaraetäisyyden kuin saman kokoinen taistelukärki, josta lähtee suurempikokoisia sirpaleita.

Maan sisällä räjähtävät taistelukärjet ovat erityinen oheisvahinkojen arviointimenetelmän tilanne, johon soveltuvia julkisia tutkimuksia on hyvin rajallisesti. Pelkkään kraaterien muodostumiseen tai räjähteiden normaaliolojen turvalliseen varastointiin liittyvät laskentamallit eivät yleensä sovellu oheisvahinkojen arvioinnissa tarvittavien vaaraetäisyyksien määrittämiseen. Tässä tutkimuksessa esitetty laskentaperiaate oli ainoa julkisista lähteistä löytynyt malli, jonka voidaan katsoa soveltuvan käyttöön määritettäessä kraaterista lentävän maa-aineksen vaarallisuutta ihmisille oheisvahinkojen arvioinnin edellyttämällä tavalla.



Tutkijan mielestä laskentamallin tuottamat vaaraetäisyydet ovat kuitenkin epäilyttävän lyhyitä ja tuloksia olisi syytä validoida esimerkiksi kotimaisin räjähdyskokein. Mikäli JWS-ohjelmisto (Joint Weaponeering System) vapautetaan ja myydään Suomelle, sen ominaisuuksia tulee hyödyntää operatiivisten vaaraetäisyyksien määrittämisessä etenkin maan sisällä räjähtävien taistelukärkien tapauksessa.

Oheisvahinkojen arviointimenetelmän vaiheen 4 edellyttämä painevaikutuslaskenta voidaan tehdä hyödyntäen yleisiä ylipaineen käyttäytymisen periaatteita. Varsinaisena sotilaallisen hyökkäyksen kohteena olevan rakennuksen tai muun maalin ominaisuuksia ei huomioida, mikä tekee vaaraetäisyystaulukoiden määrittämistä suoraviivaista. Käytännön haasteen tuo kuitenkin operaatioalueen ja mahdollisten maalien ympärillä olevien rakennusten ja niiden rakenteiden tunnistaminen sekä ylipainerajojen määrittäminen operaatioalueella esiintyville yleisimmille rakennetyypeille. Rakenteiden kestävä ylipaine vaikuttaa merkittävästi muodostuvan vaara-alueen kokoon.

Oheisvahinkojen arviointimenetelmän vaiheessa 5 käytettävien ihmistiheystaulukoiden laadintaperiaatteiden määrittäminen rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle, koska se on luonteeltaan hyvin erilaista kuin taistelukärkien sirpale- ja painevaikutuksen tutkiminen. Ennen kuin arviointimenetelmä voidaan ottaa käyttöön, kyseiset taulukot on muodostettava ainakin todennäköisimmille operaatioalueille.

## LÄHTEET

- [1] AGM-154 JSOW (Joint Standoff Weapon) and JSOW-ER. London: IHS Jane's Air-Launched Weapons, 2013. Posted 29.4.2013 [viitattu 10.9.2013]. 22 s.
- [2] AGM-158 Joint Air to Surface Standoff Missile (JASSM) [verkkajulkaisu]. GlobalSecurity.org. [viitattu 22.1.2014]. Saatavissa:  
<http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/jassm.htm>
- [3] AGM-158A JASSM (Joint Air-to-Surface Standoff Missile), AGM-158B JASSM-ER and LRASM. London: IHS Jane's Air-Launched Weapons, 2013. Posted 7.5.2013 [viitattu 10.9.2013]. 14 s.
- [4] ConWep – Collection of conventional weapons effects calculations based on TM 5-855-1, Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons. Vicksburg: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1992.
- [5] Crull, M. *Buried Explosion Module (BEM): A Method for Determining the Fragment Hazards Due to Detonation of a Buried Munition*. Huntsville: U.S. Army Engineering & Support Center, 1998. 12 s.
- [6] Driels, M. *Weapon engineering: Conventional Weapon System Effectiveness*. Second Edition. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2013. 1147 s. ISBN 978-1-60086-925-9.
- [7] Gould, K., Tempo, K. *High-Explosive Field Tests: Explosion Phenomena and Environmental Impacts*. Washington D.C.: Defense Nuclear Agency, 1981. 87 s.
- [8] Janser, P. *Lethality of Unprotected Persons due to Debris and Fragments*. In: Twentieth Explosives Safety Seminar, Norfolk, Virginia, 24.–26. elokuuta 1982. Zurich, 1982, Consulting Engineers and Planners. pp.1513–1529.
- [9] Joachim, C. *Ejecta Hazard Ranges from Underground Munitions Storage*. Vicksburg: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1990. 24 s.
- [10] Lappi, E. *Computational methods for tactical simulations*. Väitöskirja. Helsinki, 2012. Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos, Julkaisusarja 1 N:o 1/2012. 189 s.
- [11] Manual of NATO Safety Principles for the Storage of Military Ammunition and Explosives. AASTP-1. Edition 1, Change 3. Allied ammunition storage and transport publication, May 2010.

- [12] Merx, W. *The Consequences of explosion effects on structures*. Kirjassa: Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from release of hazardous materials. First edition. Delft: The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research, 1992. 76 s. ISBN 90-5307-052-4.
- [13] NATO Collateral Damage Estimation Methodology. IMSM-0634-2011. Casteau: SHAPE, 2011. 12 s.
- [14] Naval Air Systems Command PEO Insensitive Munitions Strategic Plan. Second Submission. Department of the Navy, Strike Weapons and Unmanned Aviation, 2006.
- [15] No-Strike and the Collateral Damage Estimation Methodology. CJCSI 3160.01A. U.S. Department of Defence, 2012. 122 s.
- [16] Perry R. H, Green D. W(eds.). *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. 7th Edition. McGraw-Hill, 1997. 2470 s. ISBN 0-07-115448-5.
- [17] Saarelainen, T. *Taistelija 2020 – tulevaisuuden kärkitaistelija*. Pro Gradu -tutkielma. Helsinki, 2006. Maasotakoulu, tutkinnon täydentäminen. 143 s.
- [18] Swisdak, M., Tatom, J. & Hoing, C. *Procedures For The Collection, Analysis and Interpretation Of Explosion-Produced Debris*. Revision 1. Indian Head: Naval Surface Warfare Center, 2007. 46 s.
- [19] Taistelijan opas. Mikkeli: Maavoimien esikunta, 2013. 271 s. ISBN 978-951-25-2485-3.
- [20] Zipf, R., Cashdollar, K. *Effects of blast pressure on structures and the human body*. Atlanta: The National Institute for Occupational Safety and Health, 2005.
- [21] Åkesson, B. et al. *Validating indirect fire models with field experiments*. Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology, 2013. Vol. 10, no. 4, p. 425–434. ISSN: 1548-5129.

## LIITE 1

## TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT SANDIS-OHJELMISTON PARAMETRIT

Parametri	Mark 82	Mark 83	Mark 84	BLU-109	JSOW	JASSM
FragVelocity	2402	2259	2365	2092	1180	2092
ExplosiveMass	110,2	238,7	542,2	249,3	73,6	194
Height	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
ArmorPenetration	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,5
Fan FragAmount	5187	3263	4442	4623		
EndAngle	10	10	10	10		
StartAngle	0	0	0	0		
AvgFragMass (g)	4,08	11,57	14,17	21,16		
Fan FragAmount	27666	17404	23690	24656	33000	15548
EndAngle	115	115	115	115	115	115
StartAngle	75	75	75	75	65	75
AvgFragMass (g)	4,08	11,57	14,17	21,16	3,00	21,16
Fan FragAmount	1729	1088	1481	1541		
EndAngle	180	180	180	180		
StartAngle	170	170	170	170		
AvgFragMass (g)	4,08	11,57	14,17	21,16		